第十二章　水生雜草之管理

蔣永正
行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所公害防治組

一、前言

水資源的開發在全球人口快速成長、經濟急速發展下日趨蓬勃，為達到充分利用及儲備水源的目的，各類輸水、集水之渠道及水庫等設施應運而生，不僅造就了大小深淺不同之動態及靜態水生環境，同時也增加了人類活動對水系生態的影響程度。幾乎所有天然與人工水體中，都會發現水生植物的存在，生長在水邊、水面、水底、溪流、渠道或湛水田內，全球不同地區之分布多達數千種以上，種類及數量均有豐富的變化。水生植物本為水生生態系的成員之一，扮演平衡及穩定生態系的重要角色，只是因為水質等環境的改變或外來入侵種的介入，引起特定植物的大量繁殖及蔓延，干擾其他水生生物的存活，甚至造成人類健康及居住的威脅，此種水生植物即被視為需要防除之水生雜草。水生雜草的危害隨著水資源的開發與利用有日益嚴重之趨勢，尤其是熱帶與亞熱帶國家，因為水溫高、水壩及灌溉設施的增加，助長水生雜草的生長、繁殖及散布。臺灣地區內陸河川因為大都短而湍急，用於航運的價值不高，大部分水源用於農業灌溉，少部分為工業及民生用水。因此，水生雜草的危害主要是堵塞水閘及溝渠，雨季期間甚至造成河水氾濫，危及鄰近居民生命及財產的安全。由於水域面積廣闊，水上活動不易操控，一旦意識到水生雜草普遍滋生引起危害時，往往需要投入大量的人力及經費，卻未必能達到理想的控制效果。

早期水生雜草防治計畫集中在防除方面，有關布袋蓮(*Eichhornia crassipes*)的研究報告，其中防除就占了 50%，危害性 25%，生理和利用性各占 11%，其他 3%(蔣及呂 1984)；實際上因為不易達成完全消除的目的，同時防除的效益過低，水生雜草對經濟的衝擊很難估計。研究顯示維持適當的水生植物群落，不但有助於物種多樣性之發展及水生生態系的穩定，同時還具有淨化水質的潛力(Oki 1992)。因此建立適時適度之水生植物管理系統，為維繫水體生命所迫切需要的。

二、水生雜草之生長及分布

水生雜草指在水中或含飽和水之土壤中，完成全部或部分生育期之植物。廣義的水生雜草包括生長在水邊的濕地雜草，狹義的水生雜草為終生都生活在有水的環境中，且必需在水中完成生活史者。

(一)水生雜草的分類

依據生長之環境及外觀形態特徵(洪及呂 1980, 彭 1996, Holm *et al.* 1970, Ridout 1980)，水生雜草可分為：

1.挺水性雜草（emergent weeds）

多分布於水深一公尺以下之淺水區中；如水位深淺具季節性變化之水體，或規律性洩洪之水庫堤岸邊。根系著生於水底，大部分莖葉露出水面，多數在水面上開花，根系之氧氣由莖葉之通氣組織供應，亦可稱為半水生性雜草(semi-aquatic weeds)，如水燭(*Typha angustifolia*)、香蒲(*T. orientalis*)、蘆葦(*Phragmites communis*)、竹葉菜(*Commelina benghalensis*)及鴨舌草（*Monochoria vaginalis*）等。另外如無柄花石龍尾(*Limnophila sessiliflora*)、圓葉節節菜(*Rotala rotundifolia*)、眼子菜科之 *Potamogeton natans*、及蓴科之 *Brasenia schreberi* 等兩棲性植物(amphibious)，同時具有沉水及挺水葉或沉水及浮水葉，即浮於水面之寬闊葉片和沉於水下之全裂葉片。

2.漂浮性雜草（floating weeds）

分布在大而深之水系中，或具流動性之水渠及池溏中。涵蓋單細胞藻類及大型維管束植物，完全在水中生長及完成生活史，當水體乾涸時，水底泥層中常會留有種子或營養繁殖器官伺機萌發。布袋蓮、大萍(*Pistia stratiotes*)及槐葉蘋（*Salvinia natans*）等根系漂浮於水中，枝葉位於水面，植株具有特化的氣囊，會隨水流漂浮至遠距離；另一種形態之漂浮性雜草為根系固定在底層土壤中，葉片平貼於水面，葉柄隨水深而伸長，水面下亦會長出沉水葉，大氣中氧氣經由葉上表面之氣孔供應水中根系之生長，如荷花(*Nelumbo nucifera*)、臺灣萍蓬草(*Nuphar shimadai*)及角果藻(*Zannichellia palustris*)等。

3.沉水性雜草（submerged weeds）

發生在深淺不同之水系或具流動性之渠道中，大部分幾乎都在水面下萌芽、生長及繁殖，根及營養繁殖器官伸入底層土壤中，葉片呈線形、絲狀或條狀，莖葉內之機械、輸導及表皮角質組織均不發達，多數種類會將花挺出水面以便授粉。依據水的深度又可分為淺水性沉水雜草，如小茨藻(*Najas minor*)、馬藻(*Potamogeton crispus*)等，及水蘊草(*Elodea canadensis*)、水王孫(*Hydrilla verticillata*)、聚藻(*Myriophyllum spicatum*)等深水性沉水雜草。

(二)水生雜草之生長特性

水生生態系的組成極為複雜，水深深度、水流速度、懸浮粒子含量、水溫、光線之穿透性及氣體濃度的變化等，均會影響水生雜草之生長、繁殖及分布。當水溫發生季節性改變時，會影響植物的代謝活性，但水界溫度一般仍較陸地變化小。光照則因為深水引起之吸光度遞減，甚至因為水中所含物質的成分及比例，可能遮蔽特定波長之光線伸入水底，影響光合作用的進行及植株形態的發生。水中氣體濃度則主要指氧氣和二氧化碳的含量，除和植物光合及呼吸作用有關外，二氧化碳還會改變水體 pH 值，限制植物的生長。如布袋蓮之生育主要受溫度影響呈季節性變化，在溫帶地區冬季極低溫下，大部分植株均會死亡，只有極少數殘存至翌春。這些越冬

的個體在春天生長，夏天繁殖，秋天即可造成龐大的族群。但類似雙穗雀稗(*Paspalum distichum*)等岸邊多年生挺水雜草，其蔓藤在嚴寒冬季不具休眠性，若未定期防除族群有逐年增大之趨勢(Shibayama 1981)。

漂浮型雜草其莖葉飄浮在空氣中，對溫度如低溫較敏感，在分布上有季節性及區域性的變化，水中養分含量、深度及水質污染程度亦會影響其生長、繁殖及散布速率。水流速度與生長之穩定性有關，一般在流速緩慢之河域或渠道內發生之數量較多。挺水型雜草根系著生於水底之缺氧層，養分的吸收易受水質影響，大部分在熱帶或亞熱帶之水中，或水系周圍適合生長之地區蔓延。沉水型雜草之生育，則受限於水底碳、氮等營養成分及氧氣濃度的供應，影響光合作的效率，具有薄而大的細胞構造以利氣體擴散，生化上則有與氧氣高度親和之能力，以適應水中環境。

水生雜草通常具有快速的生育及繁殖能力，布袋蓮在臺灣地區主要以匍匐莖(stolon)產生新的分株，於 6-11 月期間(溫度範圍 24-29℃)，幼株數目呈指數型速率增加；植株平均 5.5 日產生一片新葉，葉片壽命長達 2 個月左右才開始老化(未發表數據)。氣候、水質、水流速度及其他水生生物等為影響生育之主要因子；溫度、日照會改變水生植物群落在單位面積產生的生物量(biomass)，一般呈季節性變化。水中氮、磷、鉀、鈣等營養源含量增加，會加速植物的生育及繁衍，但極端的 pH 或水中鹽類濃度過高時，則會抑制植株的正常生長。在水流速度緩慢與渠道兩邊發生大型禾本科或蔓藤植物時，會阻擋水生雜草不被水流沖走，駐留在局部地區逐漸蔓延龐大。

水生雜草大部分都具有營養繁殖體，且以營養繁殖為主。走莖的生長迅速很快產生分株，溫帶氣候下平均 8-14 天，植株密度即倍增，莖節斷裂處也會長出新芽。如槐葉蘋雖只行無性繁殖，但可由頂芽及側芽分出小株，或以走莖繁殖。有些水生雜草也會產生種子行有性繁殖，溫帶地區植株在嚴寒的冬季會整株枯死，只有靠休眠的種子於翌年春天發芽，成為延續族群的唯一途徑。根據 Holm *et al.* (1970)調查，布袋蓮在萌芽後 26 日即開花結子，每株產生的活性種子高達 5,000 粒。這些種子在水底可保存活性 5-7 年，並在適宜狀況下萌芽，發芽率高達到 90％以上(Ueki and Oki 1979)。臺灣地區因為冬季低溫不明顯，布袋蓮植株雖不會產生新的營養體，但母株仍能存活至次年，待夏季溫度升高後即大量繁殖，因此種子的重要性相對減低。

(三)水生雜草之分布

許多水生植物經由(1)人為引進；如 1890-1901 年間日本人以觀賞為目的，將布袋蓮引入臺灣；(2)水生動物或候鳥的夾帶種子；3.纏繞船身之蔓藤類植物隨航線散布至各地區等傳播路徑，而迅速擴展蔓延及廣布於全球各地(洪及呂 1979)。入侵雜草若能適應當地氣候等環境變化，且無原產地天敵所構成的威脅時，在生育上即具有強大的競爭力，成為新侵入環境中之優勢種，且歷經時日後有可能因此改變原有環境中之生物相。以生長型式而言，目前南美、非洲、亞洲等地區人工湖內之水生雜草以沉水型最多，浮漂型次之，挺水型較少。

全球主要水生雜草及分布列於表 1 及表 2，其中布袋蓮為全球性發生之嚴重水生雜草。亞洲地區所分布之種類及

表 1. 全球主要水生雜草(摘自洪及呂 1980, 彭 1996, Lancar and Krake 2002, Oki 1994)。

科名	學名	科名	學名
澤瀉科(Alismataceae)	*Sagittaria* spp.	茨藻科(Najadaceae)	*Najas guadelupensis*
莧科(Amaranthaceae)	*Alternanthera philoxeroides*	柳葉菜科(Onagraceae)	*Jussiaes repens*
天南星科(Araceae)	*Pisita stratiotes*	禾本科(Poaceae)	*Distichlis spicata*
滿江紅科(Azollaceae)	*Azolla caroliniana*		*Leersia herxandra*
	Azolla filiculides		*Panicum repens*
水馬齒科(Callitrichaceae)	*Callitriche verna*		*Paspalum distichum*
金魚藻科(Ceratophyllaceae)	*Ceratophyllum demersum*		*Pennisetum purpureum*
Characeae	*Chara* spp.		*Phragmites australis*
	Nitella spp.	蓼科(Polygonaceae)	*Polygonum hydropiper*
旋花科(Convolvulaceae)	Ipomea carnea		*Polygonum punctatum*
莎草科(Cyperaceae)	*Cyperus articulatus*	雨久花科(Pontederiaceae)	*Eichhornia crassipes*
	Cyperus difformis		Monochoria vaginallis
	Eleocharis acicularis	眼子菜科(Potamogetonaceae)	*Potamogeton crispus*
	Eleocharis palustris		*Potamogeton diversifolius*
	Scirpus mucronatus		*Potamogeton foliosus*
小二仙草科(Haloragaceae)	*Myriophyllun brasiliense*		*Potamogeton natans*
	Myriophyllun spicatum		*Potamogeton nodosus*
水鱉科(Hydrocharitaceae)	*Egeria densa*		*Potamogeton pectinatus*
	Elodea canadensis	槐葉蘋科(Salviniaceae)	*Salvinia* spp.
	Hydrilla verticillata	香蒲科(Trapaceae)	*Typha angustifolia*
浮萍科(Lemnaceae)	*Spirodela polyrhiza*		*Typha domingensis*
千屈菜科(Lythraceae)	*Ammannia auriculata*		*Typha latifolia*

表 2. 全球主要水生雜草之分布(摘自 Lancar and Krake 2002)。

雜草名稱	亞洲	澳洲及紐西蘭	非洲	南美	歐洲	美國及墨西哥
*布袋蓮(*Eichhornia crassipes*)*	+++	++	+++	+++	無	+++
香蒲科(*Typha* spp.)	++	++	無	無	無	++
樹牽牛(*Ipomea carnea*	++	無	無	無	無	無
水王孫(*Hydrilla verticillata*)	++	++	無	+++	無	+++
槐葉蘋科(*Salvinia* spp.)	++	++	++	+++	無	++
空心蓮子草(*Alternanthera philoxeroides*)	+	++	+	無	無	++
鴨舌草(*Monochoria vaginallis*)	+	無	無	無	無	無
澤瀉科(*Sagittaria* spp.)	+	+++	無	無	無	無
眼子菜科(*Potamogeton* spp.)	++	+++	+	+++	+++	+++
大萍(*Pistia stratiotes*)	++	無	++	無	無	++

分布頻度：+為發生樣品占總調查樣品之 1-35%；++為發生樣品占總調查樣品之 36-75%；+++為發生樣品占總調查樣品之 76-100%。

數量較多，可能和耕地中灌溉田所占面積居全球之冠有關，水田及灌溉溝渠的廣布，擴展了水生雜草的生存空間。紐澳地區內屬眼子菜科之 *P. ocheratus* 及馬藻為主要之沉水雜草，挺水雜草則以澤瀉科之 *Sagittaria* spp.為主；布袋蓮、人厭槐葉蘋(*Salvinia molesta*)及大萍為非洲地區普遍發生之難防除雜草。美洲地區除布袋蓮、水王孫、槐葉蘋科及眼子菜科等主要水生雜草外，莎草科之 Scirpus 屬、Cyperus 屬、Eleocharis 屬及禾本科之 Phragmites 屬的分布亦十分普遍。至於歐洲地區之重要水生雜草除眼子菜科外，*Myriophyllum heterophyllum* 在灌輸渠道亦屬常見之水生植物，沉水性的 *Callitriche obtusanula* 及 *Elodea muttalli* 則發生在優養化溪流中，其他如蘆葦為重要之湖岸雜草，粉綠狐尾藻(*Myriophyllum aquaticum*)及雙穗雀稗為普遍發生之入侵性草，湖泊及溪河中高密度之 *Lemna minuta* 會造成魚類的死亡及降低無脊椎動物之種間多樣性(Kunii 1991, Lancar and Krake 2002)。

臺灣地區在水生環境大肆破壞、外來動植物危害及競爭、除草劑等農藥毒害與水質嚴重污染的影響下，三百多種之水生植物幾近半數瀕臨絕跡。常見之布袋蓮與大萍即為適應佳、繁殖與生長速度快之外來植物，尤其在夏季高溫時會快速長出許多走莖。每一走莖均可萌發成單一植株，株數幾成指數或對數之速率增加，往往在有限空間內佔據大部分的水面，排擠了其他水生生物的生存資源，也阻礙了水流的順暢，成為水域及渠道內密集發生之水生雜草。其他早期水田內普遍發生之水生雜草如槐葉蘋、浮萍等，可能因為除草劑的大量使用，如今僅在茭白筍等深水田區內出現。

三、水生雜草的危害

水生植物在水生生態系內雖然具有製造氧氣、提供食物及棲所等功能，但大肆繁衍成為水生雜草時，則會改變水生環境原有之性質，影響其他水生生物的存活，以及人類對水資源的利用價值。水生雜草因族群過於龐大，會直接造成河道阻塞泥層淤積，雨季河水氾濫之危害；間接影響為導致水域之蒸發蒸散量大，旱季水位明顯下降，干擾水系的利用。此外亦會成為病蟲原中間寄主，破壞公共衛生影響人體健康。

(一)水生環境的改變

1.降低水體的利用率

(1) 漁業：漂浮及沉水性雜草植株，雖然會提供魚群等水生生物遮蔽及棲息之場所，但生長過密水面被完全覆蓋時，魚群正常的生長及繁殖會受影響，植物殘體分解後，會導致水中溶氧量過低導致魚類窒息死亡。此外水生雜草的發生也限制了水體內各層面物質的混合，降低水生環境的自然肥力，影響魚類的養殖。同時過度滋生之水生雜草還會干擾魚蝦等捕撈工作。

(2) 灌溉：溝渠及溪流中之水生雜草，會減緩水流速度及水流量影響農田灌溉。灌排系統堵塞嚴重時，會導致排水溝內水向外溢流，造成農地及附近地區之湛水，甚至引起局部性水災發生。此外河道中之水草流入水田內，

會干擾整地及栽培作業，和作物競爭養分、傳佈病原菌等，1973 年印度即因水草的發生，使水稻減產 21％ (Kerala Agricultural University 1976)。美國加州每年灌溉計畫之經費，需花費約 30％在防除水生雜草 (Ridout 1980)。

(3) 航運及水力發電：水生雜草會阻擋船舶在水道或河域之移動，植株捲入船身或纏繞發電機之馬達裝置，影響冷卻系統及渦輪的正常運轉，甚至腐敗的殘枝所放出的有機酸，還會腐蝕河堤及損壞水庫內渦輪裝置，降低水力發電效率，以及增加維修費用。

(4) 其他：水生雜草會吸附住水中之碎屑及殘渣，導致水體快速填滿；植物殘體分解後形成之不溶性鹽類沉澱物堆積在池塘、湖泊及渠道，密集之植體使水流減緩泥沙淤積，致河床升高影響水系壽命，甚至導致水體乾涸或變成為沼澤、濕地。

2.降低水庫及水池等蓄水力

經由蒸發散作用(evapotranspiration)減少湖水或水壩之水量。漂浮及沿岸挺水雜草葉片之蒸發蒸散作用，為水系內水量損失之主要原因。如布袋蓮葉片釋出之水量為水面單獨經蒸發損失之水量的 3-4 倍；某些柳樹、西洋杉等木本岸邊植物(phreatophytes)，在日間蒸散作用旺盛時，地下水位也會明顯下降。蒸發蒸散作用所耗損的水量超過水面的自由蒸發量。在布袋蓮二者損失比例為 1.45-6.60：1，槐葉蘋為 1.14：1。實際的蒸發蒸散耗水量前者約為 0.85 ml cm^{-2} day^{-1}，後者為 1.50 ml cm^{-2} day^{-1} 左右，因此往往造成乾旱地區水庫內水量的嚴重乾涸(Brezny *et al.* 1973, Mitchell 1974)。

3.破壞環境衛生及干擾水上活動

水生雜草阻擋部分風力及水波引起的搖動，提供蚊子等幼蟲發育不受干擾之場所，密集枝葉形成的自然遮蔽網，成為蚊蟲棲息的適合環境。此外蝸牛及水蛭等軟體動物的繁殖倍增，隨著漂浮性水草的移動四處散佈，造成環境衛生上的威脅。

水生雜草也限制或阻礙游泳、釣魚、滑水及划船等水上娛樂活動之進行。如布滿藻類植物之游泳池，會因為地面過滑引起絆倒之危險，同時在景觀上的不雅也影響觀光的價值。

水生雜草增加水中有機質的含量而影響水質，且有機質與水泥結合後會影響堤岸混凝土之密實度。繁殖快速之布袋蓮，一個生長季即布滿水面，形成密織的網蓆，整片向下游漂浮，對橋樑結構造成巨大之壓力。

(二)水生生態系的衝擊

過量的水生雜草會和水中其他生物競爭光線、氧氣及養分等，藻類及高等植物對生態系有不同層面的影響。

1.藻類

包括浮游藻及絲狀藻，大部分適合生長在光照下之湖、溪、池塘、及海洋等淡水及鹹水環境中。藻類因為水中氮、磷等營養源過多而大量繁殖時，會使水色呈綠、棕、紅及黑色變化之水華(water bloom)現象，嚴重時更因為藻類死亡造成水中溶氧遽降，形成厭氧或還原狀態，導致好氣性生物無法存活，致整個水生生態系發生逆轉之可能；一般在夏季水流緩慢、上下對流不良、水中 pH

值 7-9、陽光充足且營養含量高之水域較常發生。優養化作用(eutrophication)即為藻類引起水華現象之主因；都市化及農業活動導致過量的植物養分進入水體形成優養化，植物相及微生物相因而發生改變。過量的植物養分會加速固態污水的沉積作用，藻類的組成及大型植株的群落均發生改變 (Jeffries and Mills 1990)。能夠忍耐及利用過量養分之水生雜草會迅速繁茂，敏感的水生植物則逐漸消失，以致多樣性降低。此外經某種藍綠藻引起水華現象之污染水，會導致牲畜、寵物及野生生物飲用後，發生中毒死亡現象。大量聚集之藻類群落，也會遮蔽光線影響水底之曝光量，阻礙以種子萌芽為主之沉水雜草的生長。藻類在水體內也會產生不佳的氣味，破壞飲用水之風味，干擾家用或工業上之用途，同時漂浮在水面有如浮渣之藻體，也破壞了水系作為進行娛樂休閒場所之品質。一般而言絲狀藻較易阻塞水管之過濾系統，堵塞水門及渠道干擾水系正常運作。

2.高等植物

種類極廣包括不同構造之水生及中生植物，植株之保護及輸導組織不發達，但與漂浮能力有關之通氣組織，如葉柄及葉肉之基本組織，莖、根之皮層組織的發育卻極明顯。大部分挺水雜草可以生長在堤岸邊或窪地，常見於灌排水系統及水流緩慢之渠道內，一般熱帶或亞熱帶水體最適合其生長、繁殖及散布。漂浮雜草除阻礙水流外，還會經蒸發蒸散作用造成水量的流失，布袋蓮、大萍及槐葉蘋為典型之代表雜草。沉水雜草之繁茂程度視水的深度、濁度及水面下的物理特性而異；在深達 3.5 至 4 公尺之清澈水體中的發生會受限制。一般水生植物也會與浮游藻類競爭養分，影響後者之生物量累積。

四、水生雜草的利用性

水生植物以適當群落出現在水域時，對水生生態系具有平衡氧氣與二氧化碳比例，供給水生生物呼吸及維持水質適當酸鹼值之功能，同時提供幼齡及野生動物庇護與棲息之場所。另外如布袋蓮等漂浮雜草，還可作為草食性魚類及食用螺之飼料，生長在堤岸邊之水生植物也具有保護堤岸，避免水流沖刷的功能(Pieterse 1978)。

水生雜草的潛在用途，如乾燥之布袋蓮施入土壤後，可促進土壤結構及保水力，且其含量豐富的鉀肥，可作為果樹之堆肥。另外還可用為覆蓋作物，保持土壤水分、溫度及防除他種雜草種子。其次水草可作為水陸動物的食物，如布袋蓮含多種胺基酸，可調配成飼料的添加物。水草尚可成為工廠之原料，如布袋蓮之葉柄富含纖維質，在藤業加工廠可以加以利用；其紙漿產量也高達 31%，可用於造紙業(Pieterse 1978)；其他所含的化學物在商業上也有頗大利用價值。另外水草會吸收渠道中工廠排放之廢物，及農田流失之農藥，清潔水質維持他種水生生物之生存 (Kerala Agricultural University 1976, Oki 1992)。某些水生雜草具有特殊之株形與花色，適當管理下可作為美化水生景觀的觀賞植物。

布袋蓮、*Lemna* sp.、*Pharagmites* sp.

及 *Azolla* sp.等水生雜草可利用為減少污染水中養分含量的方法，因為這些植物會顯著而快速的吸收養分，目前也有關於 *Typha* sp.、*Scirpus* sp.、*Iris* sp.及 *Phragmites* sp.等植物，在天然及人工廢水處理的研究。布袋蓮等 13 種水生雜草進行有關家庭廢水污染溝渠之淨化試驗，歷經一年減少 83%之全氮及 92%之磷含量，特別是 *Iris*、*Juncus* 及 *Elodea* 具累積氮、磷之功能(Oki 1994)。許多水生植物在減低農、工業及家庭廢水污染上，也扮演了暫時的淨化角色，或提供浮游生物及魚類等之食物。近年來美國、印度、中國等科學家，從事沼澤地帶水生植物分解後產生甲烷等天然氣之研究，企圖從水生雜草尋找替代能源之可能性。

但目前有關水生雜草之利用性，大部分止於試驗階段，所以在實際利用上需考量以下數點(Ridout 1980)：

(1) 水生雜草之利用，主要仍基於防除目的，因此在處理過程中仍需注意經濟評估，發展簡易運輸、處理及儲藏之流程。
(2) 水生雜草所含的水量很高，一般用擠壓及日曬法除去多餘水分，此可能影響其內品質及養分含量，造成利用上的限制。
(3) 水生雜草若為利用而任其大量生長繁殖，會成為蟲病原之寄主，影響人畜健康或流入河道造成危害。

因此水生雜草之利用在付諸實施前，需縝密的研究和發展，適當的設計及管理以確保效益。

五、水生雜草的管理

水生雜草的管理，Soerjani (1975)將其分為四步驟：(1)問題的確立，包括水生雜草的分類，生理及生態特性，和危害程度的評估；(2)選擇防除的方法，包括預防、物理、改變棲息環境、生物、化學等防除方法，及系統化的綜合管理；(3)防除方法的實施和效果的評估；(4)建立水生雜草的長期管理策略，包括從限制引進，利用及防除等各方面，以控制水生雜草族群的過於發展。因此所有包括預防、物理、生物及化學等傳統的防除方法，均需做長、短程效益、環境及管理適用性、防除水準及成本的評估。一般化學防除方法可提供最快速有效之短期效果，但長期性之水生雜草管理，應從控制水源養分著手。另外改變棲息環境亦為水生雜草的防除方法之一，若能配合化學防除等其他方法適時的使用，應能符合經濟效益、生態平衡、及環境保護的期望。

(一)預防性防除法

預防性防除包括三個主要目標；防止種子散布、消除供應生長之營養來源、及減少可固定根系之淺水區域。

1.防止種子散布

水生植物似乎會快速蔓延至各處水塘中，藻類孢子會隨風飄散，水鳥的腳趾及羽毛、動物的皮毛會攜帶孢子、種子及植物的片段至各處，人類因為航行及旅遊也會將水生雜草四處散布。利用水生植物作為魚類等飼料或棲所，或將放置有水草之水族箱任意傾倒至湖泊或排水道中，為最常見之種子散布方法。任何出現在水塘或渠道之水生雜草，應立即在開花及形成種子前移除是為防治

之上策。

針對外來水生雜草入侵之最有效方法為避免其引入，利用檢疫法規及相關法則，強制禁止外來植物的入侵；如作物種子及有害草種的檢查，即依據任何在生長期間，直接或間接危害作物及牲禽的生育、影響灌溉、水域利用、水生及野生動物的生育、或公共衛生等植物，進行其在當地生育及蔓延，對環境及生態影響之風險評估，採取禁止及限制(次級有害雜草)的手段。以臺灣目前造成問題之外來雜草中，部分是農業單位及個人藉研究、觀賞或營利為目的所引進。對同為熱帶或亞熱帶生長及繁殖力強，危害潛力高之植物，國人尤其應該保持高度警覺，不可輕意帶入任其生長繁衍。

2.控制營養源

避免溪流、湖泊及蓄水池內氮磷鉀等營養源之流入，為近年來防治水生草的主要項目之一。灌排溝內之肥料，牲禽飼養場之排泄物，污水處理場及下水道之排放水，含磷清潔劑之家庭廢水為營養源之主要來源。因此，有效遏止水源的污染，為解決水生雜草蔓延的根本之道(Shelton and Murphy 1989)。減少營養源流入水域之方法涵蓋以下數點：(1)水域周圍保留適當隔離帶，以防止逕流及養分吸收。(2)水體四周如有草坪及高爾夫球場等重肥施用區，應設置不施肥區，避免流入鄰近池塘及湖泊中。(3)避免牲畜進入水體內，減少其排泄物之流入，及防止堤岸土壤的崩解。(4)水體區應使用不整地(最小)耕作法，避免土壤的流失。(5)於支流進入主水體前，構築蓄水池吸收其中營養源，以減少養分的流入。(6)除需維持魚池內浮游藻之生長外，避免將肥料直接丟人水體。(7)訂定污水場及排水管之排放水標準，污水場內禁止使用有毒染劑。

減少養分為控制浮游藻等生物繁衍最有效之方法，但養分控制法對已建立族群之水生植物影響不大，對水底尚無豐富養分沉澱之新建水體，防止其水生雜草的蔓延較具成效。

3.消除淺水區域

新建之池塘或湖泊應避免低於90公分以下之淺水區過大，以防止岸邊雜草的深入及繁衍。

(二)物理防除法

移去已存在之水生雜草植株，包括人工拔除及使用耙子等各種機械器具。人工拔除最為有效，可移去雜草的任一部分，避免遺留之種子或地下部營養繁殖體再生，符合長期控制的目標，只是費時費工不符經濟原則。機械器具包括具拖曳裝置之機具，通常用於灌排溝渠植株及移除沉澱，只是需經常性重複使用且花費昂貴。雜草清除機則用於較大池塘及湖泊，可移去大部分之水生植體，包括絲狀藻及水面下 10-13 公分深之沉水植物。但清除機的使用及維護費用頗為昂貴，同時亦需重複使用，以防止未剪斷部分之再生，通常不適淺於90-120 公分深之水系使用，而適用於較大之水系(Roegge and Evans 2003)。機械防治之優點為不會殘留植體於水中分解，造成氧氣耗損及營養源增加之危機，但收集之植體需有適合之處所置放及做後續之處理。不具植體收集裝置之剪草機則不適用於水系雜草防除，因為任何留在水中之植體均有可能再生新根

及侵入未滋生雜草之水域。

人工及機械防除，為最直接而不易產生他種負面影響之方法，在水生雜草種類複雜的地區，亦不致破壞某些雜草的利用性，但是其效果在多次重複後才趨顯著，因此人工缺乏、工資昂貴的狀況下是較不經濟的。此外尚需從事新機械發展的研究，以適合不斷發生的草種。

(三)棲所改變防除法

改變水生雜草發生地區之環境，包括：(1)沿岸排列碎石等，防止堤岸邊水生雜草之滋生。(2)冬季或乾旱期移去水底淤泥，可防除沉水及漂浮性雜草及降低水位。(3)在小型集水池內之底層覆蓋黑色塑膠布，可防止沉水雜草之生長。(4)施用無毒染劑遮蔽水面光線的照射，可防治沉水雜草之生長，但因為在整個生長期均需維持一定濃度，故大多在雜草萌發前之靜態水域(池塘等)內使用。(5)通氣有利於水體內之生命，但對水生雜草之防除效果不大，通氣裝置包括將氣體打入深水缺氧處，或將底層水抽至表面與空氣混合，主要是減少藻類產生水華現象。

(四)生物防除法

即利用生物體防治害物之方式，引進原產地生態系內菌類或昆蟲等天敵，在水生雜草群落發育的適當時期釋放以達到壓制的效果。但天敵寄主範圍的專一性，則為首要測試項目，以免造成地區農業的危機。此外天敵對本地環境之適應性，亦為防治(除)成效上的重大考量。

一般因為水生環境所受干擾較低，且水生作物之產值不高，成功使用後會得到長期之防治(除)效果，較之機械及化學防除為低成本之技術；包括昆蟲、軟體動物、魚類、爬蟲類、鳥類、哺乳動物、病原菌、及他種植物的競爭等應用。實際案例有防治滿天星之金花蟲(*Agascicles hygrophila*)(Bennet 1974)；以沉水雜草或浮萍為食之草食性鯉魚(Barrett *et al.* 1990)；會使布袋蓮感病之*Alternariaeichhorniae*, *Myrothecium roridum* 和 *Rhizoctonia solani*(Oki 1994)。但生物防治使用之昆蟲或他種動物，均需具嚴格之專一性食性，鵝、鴨等禽類也具有某種程度之效果，但其排泄物會造成水體之優養化，導致浮游藻類產生水華現象。

(五)化學防除法

一般使用除草劑為最經濟簡便而速效的方法，通常施用 1-2 次，效果即可持續一段時間。除草劑使用之時間及方法，隨雜草種類及生長特性而定，表 3-1 及表 3-2 所列為防治水生雜草之除草劑：其中 2 ,4-D 使用最廣，且在高劑量施用時殺草範圍大，對其他水生生物毒性小，但易飄散至附近田區，引起非目標作物之藥害；巴拉刈(paraquat)和 diquat 對浮漂雜草最有效，且易於吸附在水體中之有機顆粒上，對飲用及灌溉水的污染性小；達拉本(dalapon)則被推薦為防治水邊雜草，但使用時應小心避免灼傷皮膚；銅類化合物如硫酸銅對藻類防治有效，但對維管束植物則只能抑制其生長而不能根除。除草劑在水體施用時，應具備對環境中人、魚及其他生物絕對安全，不論在靜態或動態水域均可方便使用，且在殺草效果發揮後即迅

速分解及消散之特點。尤其應注意對環境的汙染，有關藥劑在水中分解時間及最終產物之物化性資料頗多，使用時以具高選擇性之藥劑為佳。目標水體之大小及位置、氣候、水源使用及移動、局部或全面用藥及法規之限制為除草劑正確使用之決定因子(Chandran and Semmens 2002)。

除草劑之效果一般仍屬於短期之雜草防除，依據藥劑選擇性及雜草種類，控制期的長短從幾星期至幾個月，使用範圍則受限於水源的利用情形。臺灣地區目前僅針對布袋蓮之防治，登記有41%嘉磷塞(glyphosate)異丙胺鹽溶液及61.6%三氯比乳劑(triclopyr)等除草劑，但實際仍以人工撈除為主。魚蝦養殖池中絲藻之防治，登記有3.7%乙醇胺銅粒劑(copper chelate)及 9%乙醇胺銅溶液(copper chelate)(費及王 2002)。

使用除草劑防除水生雜草方法簡便、速效且適合在多種環境下施用，因而導致人們忽略了其他防除方法之適用性，尤其是預防營養源流入水域及避免淺水區域過大，為減少或消除水生雜草生長的根本因素。因此一個健全妥當之管理策略是整合預防、栽培、機械及除草劑必要使用，以提供水生雜草長程的控制之方案。

表 3-1. 水生雜草防除藥劑(摘自洪及呂 1979, Lancar and Krake 2002, Masser *et al.* 2001)。

雜草名稱	除草劑	雜草名稱	除草劑
挺水雜草 (Emergent weeds)			
Jussiaea repens var. *glabrescens* (Creeping water primrose)	2,4-D Paraquat	*Sagittaria* sp. (Arrow head)（澤瀉科）	2,4-D Paraquat
Justicia americana (Water willow)（爵床科）	2,4-D Paraquat	*Scripus actus* (Bulrush)(莎草科）	2,4-D Paraquat
Nuphar advena (Spatterdock) （睡蓮科）	Glyphosate	T*ypha spa.* (Cattail) （香蒲科）	Dalapon Paraquat Glyphosate
Phragmites karka (Phragmites) （開卡蘆）	Glyphosate		
浮水雜草 (Floating weeds)			
Eichhornia crassipes (Water hyacinth)(雨久花科）	2,4-D Paraquat	*Potamogeton nodosus* (American pondweed) （眼子菜科）	Endothall
Nymphaea spa (Water lilies)(睡蓮科）	Dichlobenil 2,4-D	*Wolffia columbiana* (Water mela)(浮萍科）	Simazine
Lemna minor (Common duckweed) （浮萍科）	Diquat cation Endothall Simazine		
藻類*(algae)*			
Chara spp.	Dichlobenil Copper sulfate	Filamentous algae	Copper sulfate Simazine

表 3-2. 水生雜草防除藥劑(摘自洪及呂 1979, Lancar and Krake 2002, Masser *et al*. 2001)。

雜草名稱	除草劑	雜草名稱	除草劑
沉水雜草 (Submerged weeds)			
Ceratophyllum demersum (Common contrail) (金魚藻)	Endothall 2,4-D Diquat cation Diquat cation/copper Triethanolamine complex	*Potamogeton crispus* (Curly leaf pond weed)(馬藻)	Endothall Diquat cation Dichlobenil Diquat cation/copper Triethanolamine complex Simazine
Elodea canadensis (Elodea)	Copper ethylenediamine complex Diquat cation Diquat cation/copper Triethanolamine complex	*P. foliosus* (Leaf pound weed) (眼子菜科)	Endothall Diquat cation Dichlobenil Fenac Simazine
Heteranthera lubia (water stare grass)	Diquat cation Endothall	*P. pectinatus* (Sago pond weed) (龍鬚草)	Endothall Diquat cation Dichlobenil Fenac Simazine
Najas flexillis (Slender naiad) (茨藻科)	Copper-ethylenediamine complex Diquat cation Diquat cation/copper Triethanolamine complex Endothall Dichlobenil	*P. pusillua* (Small pond weed) (柳絲藻)	Endothall Diquat cation Dichlobenil Fenac Simazine
N. guadalupensis (Southern naiad) (茨藻科)	Copper-ethylenediamine complex Diquat cation Diquat cation/copper Triethanolamine complex Endothall Dichlobenil	*Ranunculus trichlordyll* (White butter cup) (毛茛科)	Diquat cation
Myriophyllum spp. (Water milfoil) (小二仙草科)	2,4-D Endothall Diquat cation Dichlobenil Fenac		

六、結語

水生植物在水生生態系中扮演著製造氧氣，提供水生動物棲所及食物之重要角色，在族群分布適中時也具有吸收水中過量營養源純淨水質之功能。但在水域內養分含量過高形成優養化時，耐性的植物過度繁殖蔓延成為具有危害潛力之水生雜草，通常污水與雜草之密切關係為普遍存在之現象。因此水生雜草的防除實為水資源管理中的一環，針對水源的利用情形，符合經濟及環境安全的原則，控制植物生長與繁衍之速率。

水生雜草的管理在全球各地，包括臺灣地區都是迫切需要徹底執行之工作。目前人工及機械撈除最為普遍，但效果是暫時性的且所費不貲，化學及生物防除在大面積之施行不易。因此針對雜草問題發生之類型，及水體功能與利用情形，同時考量對環境衝擊之風險，亟需訂定一個可供遵循之適當管理系統。通常雜草清除的效果愈佳，負面衝擊之風險愈大。此外水系也被視為公共休閒娛樂之區域，水生雜草管理系統必需符合社會大眾，及環境可接受之形式來發展，任何單一之防治方法是不能成功的達到雜草管制之目的。結合數種適合之方法，包括雜草之利用性，根據生態法則，發展綜合防除技術，建立水生雜草的長程管理辦法。

七、參考文獻

洪亮吉、呂理燊。1979。排水溝布袋蓮防治試驗。植保會刊 21: 194- 205。

洪亮吉、呂理燊。1980。臺灣農地雜草。p.172-188.中華民國雜草學會，臺北。

彭鏡毅。1996。臺灣維管束植物編碼索引(初版)。行政院農業委員會委託，中央研究院植物研究所執行。臺北市。156 pp.

費雯綺、王玉美 編輯。2002。植物保護手冊。p.757-759。行政院農委會農業藥物毒物試驗所編印。行政院農委會農藥技術諮議委員會審定。臺中縣霧峰鄉。

蔣永正、呂理燊。1984。水生雜草的防除。中華民國雜草學會會刊 5: 36- 42.

Barrett, P.R.F., K.J. Murphy and P.M. Wade. 1990. The management of aquatic weeds. p.473-490. *In*: Weed Control Handbook. R.J. Hance and K. Holly, eds. Blackwell Scientific Publications, Oxford, England.

Bennet, F.D. 1974. The control of aquatic weeds. 6.3. Biological control. p.99-106. *In*: Aquatic vegetation and its use and control, D.S. Mitchell, ed. UNESCO, Paris.

Brezny, O., I. Mehta and R.K. Sharma. 1973. Studies on evapotranspiration of some aquatic weeds. Weed Sci. 21:197-204.

Chandran, R.S. and K. Semmens. 2002. Pest Management: Choose the correct herbicide to control weeds in ponds. WVU Extension Service. 2 pp.

Holm, L.G., L.W. Weldon and R.D. Blackburn. 1970. Aquatic weeds. PANS 16:576-589.

Jeffries, J. and D. Mills. 1990. Freshwater Ecology. Belhaven Press, London, England.

Kerala Agricultural University. 1976. Report on the work done under Kerala Agricultural University on the control of Salvinia. Kerala Agr. Uni. Manuthy, Trichur.

Kunii, H. 1991. Aquatic macrophyte composition in relation to environmental factors of irrigation ponds around Lake Shinji, Shimane, Japan. Vegetation 97: 137-148.

Lancar, L. and K. Krake. 2002. Aquatic weeds and their management. ICID • CIID report. Internation Commission on Irrigation and Drainage. 65 pp.

Masser, M.P., T.R. Murphy and J.L. Shelton. 2001. Aquatic Weed Management: Herbicides. SRAC Publication No. 361. 6pp.

Mitchell, D.S. ed. 1974. Aquatic vegetation and its use and control. Unesco, Paris. 135pp.

Oki, Y. 1992. Effect of aquatic weeds on nutrient removal from domestic sewage. Proc. of the 1st International Weed Control Congress 2: 365-371.

Oki, Y. 1994. Integrated management of aquatic weeds in Japan. FFTC Database on Asian Agriculture- Plant Protection- Weed Control 96-104.

Pieterse, A.H. 1978. The waterhyacinth (*Eichhornia crassipes*): A review. Abstracts on Tropical Agriculture 4:9-42.

Ridout, J. 1980. Water weed problem, potential utilization and control. Center for Oversea Pest Research, London. 21pp.

Roegge, M. and S. Evans. 2003. Managing aquatic plants. University of Illinois Extension, Illinois. 4 pp.

Shelton, J.L. and T.R. Murphy. 1989. Aquatic Weed Management: Control Methods. SRAC Publication No. 360. 2 pp.

Shibayama, H. 1981. Aquatic weeds in creeks and their control in Japan. p.240-255. *In*: Weeds and Weed Control in Asia. FFTC Book Series No. 20.

Soerjani, M. 1975. Integrated Control of Weeds on Aquatic Areas. p.121-151. *In*: Integrated Control of Weeds. J.D. Fryer and S. Matsunaka, eds. Univ. of Tokyo, Tokyo.

Ueki, K. and Y. Oki. 1979. Seed production and germination of *Eichhornia crassipes* in Japan. p.257-260. Proc. 7th Asian-Pacific Weed Sci. Soc. Conf. Sydney, Australia.